

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

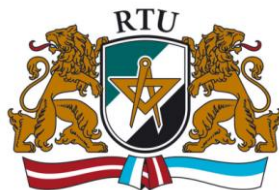
Irina BEĻAJEVA

**LOKŠŅU MATERIĀLU KOMBINĒTA DEFORMĒŠANA,
IZMANTOJOT IMPULSU MAGNĒTISKO LAUKU**

Promocijas darba kopsavilkums

Nozare: Mašīnzinātne
Apakšnozare: Mašīnbūves tehnoloģija

Rīga-2015



RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Mašīnzinātnes, transporta un aeronautikas fakultāte
Mašīnbūves tehnoloģijas institūts

Irina BEĻAJEVA

Inženiertehnikas, mehānikas un mašīnbūves
doktora programmas doktorante

**LOKŠŅU MATERIĀLU KOMBINĒTA DEFORMĒŠANA,
IZMANTOJOT IMPULSU MAGNĒTISKO LAUKU**

Promocijas darba kopsavilkums

Nozare: Mašīnzinātne
Apakšnozare: Mašīnbūves tehnoloģija

Zinātniskie vadītāji:

- RTU profesors
V.MIRONOVS (Latvija)
- Samāras aeronautikas Universitātes profesors
V.GLUŠČENKOVS (Krievija)

Rīga-2015

UDK 656
Mi 292d

Beļajeva I. Lokšņu materiālu kombinēta deformēšana, izmantojot impulsu magnētisko lauku. Promocijas darba kopsavilkums.- R.:RTU 2015.- 20 lpp.

Sagatavots saskaņā ar RTU promocijas Padomes P-16 2015.g. 25.jūnija lēmumu, protokols Nr.6

**PROMOCIJAS DARBS
IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI
RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2015.gada Rīgas Tehniskās universitātes Mašīnzinību, transporta un aeronautikas fakultātē, Ezermalas ielā 6k, 405.auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors, Dr.sc.ing. Matthias Kolbe
Rietumsaksijas pielietojamo zinātņu Universitāte, Vācija

Profesors, Dr.sc.ing. Irina Boiko
Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Pētnieks, Dr.Sc.ing. Dmitri Goljandin
Tallinas Tehnoloģiskā universitāte, Igaunija

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājusi doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē, inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē, zinātniska grāda iegūšanai.

Irina Beļajeva.....(paraksts)

Datums:.....

Promocijas darbs uzrakstīts angļu valodā, satur ievadu, 6 nodaļas, galvenos slēdzienus, literatūras sarakstu, 2 pielikumus, 162 lapaspuses un 122 zīmējumus.

SATURS

1. Pielietotie termini.....	6
2. Tēmas aktualitāte.....	6
3. Darba mērķis un to uzdevumi.....	6
4. Pētījuma metodes.....	7
5. Zinātniskā novitāte.....	7
6. Praktiskais pielietojums.....	7
7. Galvenie rezultāti, kas virzīti aizstāvēšanai.....	8
8. Darba aprobācija.....	8
9. Īss darba apraksts.....	10
10. Galvenie rezultāti un slēdzieni.....	20

1. PIELIETOTIE TERMINI

- *Valcēšana* – tehnoloģiskā operācija, kuras procesā notiek lokšņu materiāla deformēšana konkrētā virzienā.
- *Hibrīdu tehnoloģija* valcēšanā – valcēšanas process, uz kuru iedarbojas vairāki faktori.
- *Kombinēta valcēšana* – valcēšanas process, kurā uz štancējamo sagatavi vienlaicīgi vai secīgi iedarbojas vairāki sloģošanas avoti.
- *Detalās borts* – detaļas sānvirsma.
- *Impulsu magnētiskā materiālu apstrāde* – metālu plastiskās deformācijas veids, kurš notiek ar impulsu magnētiskā lauka palīdzību.

2. TĒMAS AKTUALITĀTE

Viena no izplatītākām plastiskās deformācijas operācijām daudzās rūpniecības nozarēs ir valcēšanas operācija, pateicoties kurai tiek iegūts salāgojums.

Autobūvniecībā, piemēram, valcēšanas operācija tiek izmantota motora pārsega iekšējo un ārējo paneļu salikšanai, durvju un auto bagāžnieka virsmām, kurām ir paaugstinātas precizitātes prasības (piekļaušanās blīvums, savienojuma stiprība, korozijas pretestība u.c.).

Šo prasību izpildes sarežģītība, samazina produkcijas kvalitāti, apgrūtina konstrukcijas izveidi, bet tehnoloģiem liek pielietot papildus operācijas: metināšanu, līmēšanu u.c.

Šajā sakarā jaunu valcēšanas tehnoloģiju izstrāde ir aktuāls uzdevums. Dotajā tehnoloģijā paredzēta statiska un dinamiska plastiskā deformēšana.

3. DARBA MĒRĶIS UN TO UZDEVUMI

Darba mērķis ir lokšņu metāla salāgojumu kvalitātes paaugstināšana, izmantojot kombinētu valcēšanas tehnoloģiju ar statisku un dinamisku noslodzi.

Dotā mērķa sasniegšanai tiek risināti sekojoši uzdevumi:

- Kombinētas valcēšanas tehnoloģijas izstrāde, izmantojot impulsu magnētiskā lauka enerģiju;
- Statiskās un dinamiskās deformēšanas datormodelēšanas metodikas izstrāde;
- Slodzes intensitātes un veida, sagataves ģeometrijas un ierīces ietekmes uz salāgojuma kvalitāti pētījumi;
- Valcēšanas procesa ātruma un citu parametru ietekmes pētījumi;
- Kombinētas valcēšanas metodes praktisko rekomendāciju izstrāde autobūvniecības detaļu ražošanai;
- Deformācijas procesa mehānisma izpēte un tā zinātniski-pamatotas vadības izstrāde;
- Dotā tehniskā risinājuma ekonomiskās efektivitātes faktoru izvērtējums;

4. PĒTĪJUMA METODES

Doto uzdevumu risināšanai izmantota kombinētās valcēšanas procesa matemātiskā modelēšana, pielietojot diferenciālvienādojumu skaitlisko integrēšanu saskaņā ar programmu MSC.NASTRAN/MARC.

Kombinētās valcēšanas eksperimentos enerģētisko, spēka un deformācijas parametru tika noteikti, izmantojot galīgo elementu metodi, galīgo starpību metodi un robeželementu metodi. Procesa modelēšanā izmantota sistēma CATIA.

Tehnoloģisko procesu kinemātisko parametru pētīšanai izmantota digitāla ātrgaitas kamera «Cordin- 505».

5. ZINĀTNISKA NOVITĀTE

1. Teorētisko un eksperimentālo pētījumu rezultātā iegūts, kā loksnes materiāla valcētās malas kinemātika ir atkarīga no dinamiskās slodzes formas un intensitātes;
2. Pie kombinētās valcēšanas loksnes materiāla malas sprieguma-deformācijas raksturs veidojas dināmiskās un statiskās slodzes summēšanas rezultātā. Konstatēta stiepes spriegumu veidošanās ap loksnes deformēto malu, kā arī papildus metāla tecēšana detaļas materiālā. Tā rezultātā tiek novērsta gaisa „kabatu” veidošanās salāgojumā;
3. Izmantojot statistiski-dināmiska valcēšanas procesa datormodelēšanas metodiku noteikts, ka spiedes spriegumu kritiskās vērtības, kas noved materiālu pie deformācijām, veidojās vēlāk kā pie statiskā procesa.
4. Valcēšanas procesa datormodelēšana atļauj novērtēt detaļu konstruktīvi-tehnoloģisko faktoru ietekmi uz iegūtā salāgojuma kvalitāti.
5. Izmantojot datormodelēšanu un eksperimentālos pētījumus atrasts valcēšanas dināmiskā procesa mehānisms, kas savukārt, dod iespēju vadīt šo procesu.

6. PRAKTISKAIS PIELIETOJUMS

- Izveidota lokšņu materiāla kombinētās salikšanas iekārta;
- Radīta kombinētā valcēšanas procesa aprēķina metodika, izmantojot galīgo elementu metodi, ievērojot procesa nepārtrauktību pie statiskās un dinamiskās slodzes;
- Izstrādātas rekomendācijas jaunās tehnoloģijas pielietošanai autoražošanā.

7. GALVENIE REZULTĀTI, KAS IZVIRZĪTI AIZSTĀVĒŠANAI

- Metode un iekārta kombinētās valcēšanas realizēšanai, pielietojot statisko un dinamisko (magnētisko impulsu) sloojumu;
- Kombinētās tehnoloģijas aprēķina metodika, izmantojot galīgo elementu metodi ar statisko un dināmisko slodzi, neapturot valcēšanas procesu.
- Valcēšanas procesa datormodelēšanas rezultāti, kas ietver materiāla īpašības, tā saistību ar instrumentu un dod iespēju noteikt sagataves izmērus un tā spriegumstāvokli;
- Valcēšanas kombinētas deformācijas vadības mehānisms, kurā tiek ievēroti slodzes veids un intensitāte, sagataves ģeometrija un detaļas mehāniskās īpašības.

8. DARBA APROBĀCIJA

Galvenie promocijas darba rezultāti tika atspoguļoti:

1) sekojošās konferencēs un semināros:

1. Starptautiskā jaunatnes konference „Туполева lasījumi”. 2009, Kazaņa. (Krievija);
2. Zinātniskā konference „Cilvēks un kosmos”. 2010, Dņepropetrovska (Krievija);
3. Krievijas zinātniski- praktiskā konference „Aviācijas un kosmonautikas aktuālās problēmas”, 2010, Krasnojarska (Krievija);
4. XIII Krievijas konference par MSC.Software.2010, Maskava (Krievija);
5. Jauno zinātnieku un speciālistu konference „Krievijas mašīnbūves nākotne”. 2010, Maskava (Krievija);
6. Starptautiskā konference. Gagarina XXXVII lasījumi. 2011, Maskava (Krievija);
7. Reģionālā zinātniski-praktiskā konference, veltīta 50.gadadienai, kopš pirmais cilvēks lidojis kosmosā. 2011, Samara (Krievija);
8. JOM-17. International Conference of Joining Materials. 2013, Helsingor (Dānija).
9. Starptautiskais forums par zinātnes, tehnikas un izglītības problēmām. 2013, Maskavas (Krievija)
10. 3.zinātniskais seminārs НИЯУ МИФИ, 2014, Maskava (Krievija);
11. 12.konference „Junior Euroumat”, 2014, Lozanna (Šveice);
12. IX Starptautiskā konference „Mūsdienu metodes un tehnoloģijas materiālu izveidei un apstrādei”. 2014, Minska (Baltkrievija);
13. Zinātniskais seminārs НИЯУ МИФИ, 2015, Maskava (Krievija);
14. 4.Starptautiska zinātniski-tehniskā konference „Metaldeform-2015”. 2015, Samara (Krievija).

2) sekojošās starptautiskajās izstādēs:

1. 62.Vispasaules inovāciju salons. Brisele, 2013 (Beļģija);
2. 42.Starptautiskā izgudrojumu izstāde. Žeņeva, 2014 (Šveice);

3. 43. Starptautiskā izgudrojumu izstāde, Ženeva, 2015 (Šveice). Iegūta zelta medaļa.

3) sekojošās publikācijās:

1. Beļajeva I.A., Hardin M.V. Detaļu salikšanas kombinētās tehnoloģijas izstrāde. Кузнечно-штамповочное производство, 2012, №3.17-19.lpp. (krievu val.)
2. Beļajeva I.A. Atloka stabilitātes analīze pie impulsu magnētiskās noslodzes. IX zinātniski-tehniskās konferences raksti “Молодежь в науке”, 2010, Maskava, 38 -42.lpp. (krievu val.)
3. Beļajeva I.A. Kombinēto tehnoloģiju matemātiskā modelēšana. Вестник СГАИИ. 2011, №6, 53-59.lpp. (krievu val.)
4. Beļajeva I.A., Hardins M.V., Gluščenkovs V.A. Detaļu salikšanas kombinētās tehnoloģijas praktiskā realizācija. Вестник СГАИ, 2011, №6, 67-72.pp.(krievu val.)
5. Beļajeva I.A., Hardins M.V. Kombinētās tehnoloģijas izstrāde, piemērojot valcēšanas operācijas. Konferences raksti „Будущее машиностроение России”, 2010, Maskava, lpp.44-45. (krievu val.)
6. Beļajeva I.A. u.c. Lokšņu materiālu savienošanas iekārta ar atloku. Patents № 111468. - 2011 (Krievija).
7. Beļajeva I.A., Hardins M.V., Gluščenkovs V.A. Detaļu salikšana ar valcēšanas metodi, ietverot statisko un dinamisko noslodzi. Starptautiskās konferences raksti. JOM 17 – 2013.Helsingor, Dānija, 1-7.lpp.
8. Beļajeva I.A., Gluščenkovs V.A. Valcēšanas kombinētās tehnoloģijas autorūpniecībā. XVII starptautiskās konferences raksti. “Форум по проблемам науки, техники и образования”. 98-99.lpp. Maskava, 2013. “Zelta diploms-2013”(krievu val.)
9. Gluščenkovs V.A., Beļajeva I.A. Valcēšanas kombinētas operācijas īpatnības. Известия Самарского научного центра РАН. Samāra, 2014, Nr.4, 146-153.lpp. (krievu val.).
10. Beļajeva I.A., Gluščenkovs V.A. Kombinētās valcēšanas rezultātā salikto detaļu kvalitāte. Известия Самарского науного центра РАН. Samāra, 2014, Nr.6, 312-315.lpp. (krievu val.).
11. Beļajeva I.A., Gluščenkovs V.A. Cilindrisku sagatavju saspiešanas modelēšana ar impulsu-magnētisko lauku. Известия Самарского научного центра РАН, Samāra, 2015, Nr.2, 113-118.lpp. (krievu val.).

9. ĪSS DARBA APRAKSTS

Ievadā pamatota promocijas darba aktualitāte, pētījumu mērķis un formulēti darba galvenie uzdevumi.

Pirmajā nodaļā veikts literatūras apskats par autorūpniecības virsbūves detaļu salikšanas jautājumiem. Apskatītas esošās detaļu deformācijas shēmas un valcēšanas operācijas tehniskie risinājumi.

Ar dotās problēmas risināšanu mūsdienās nodarbojas vairāki pētnieki. Krievijā ar impulsu-magnētiskā lauka izmantošanu lokšņu detaļu locīšanai nodarbojās Isarovičs G.E., Lebedevs G.M., Jugajevs V.B., Golovaščenko S.F., Koptelovs A.A., Iliničs A.M. u.c.

Citās valstīs ar šo jautājumu saistīti zinātnieki Baartman R., Guohau Zhang, Xin Wu, Livatyali M., Muderrisoglu A u.c. Zināmi darbi par hibrīdu tehnoloģiju piemērošanu detaļu apstrādē ar spiedienu. Tā, piemēram, Baltkrievijas zinātnieki (Minskas skola) hibrīdu tehnoloģijas izmantoja detaļu apstrādē ar spiedienu pie statiskās noslodzes. Profesors Mironovs V. (Rīga, Latvija) hibrīdu tehnoloģiju ar statisko un dinamisko slodzi izmantoja pie pulveru presēšanas.

Profesors D.Gleu (Ohio, ASV) lokšņu materiāla impulsu-magnētisko formēšanu pielietoja materiāla stiepes gala procesā.

Hibrīdu tehnoloģiju pētījumi tika veikti arī Samāras valsts aerokosmiskajā universitātē (Krievijā). Tos izpildīja profesors V.Gluščenkovs ar kolēģiem.

Taču šiem darbiem nebija sistēmas raksturs, netika izpētīta šo procesu specifika un netika veikta šo procesu ieviešana ražošanā.

Kombinētas tehnoloģijas rada interesi autorūpniecībā, it sevišķi pie lokšņu materiālu valcēšanas procesiem. Šeit vajadzīgi būtiski statistiski-dinamisko procesu pētījumi, lai nodrošinātu salikto mezglu kvalitātes paaugstināšanu.

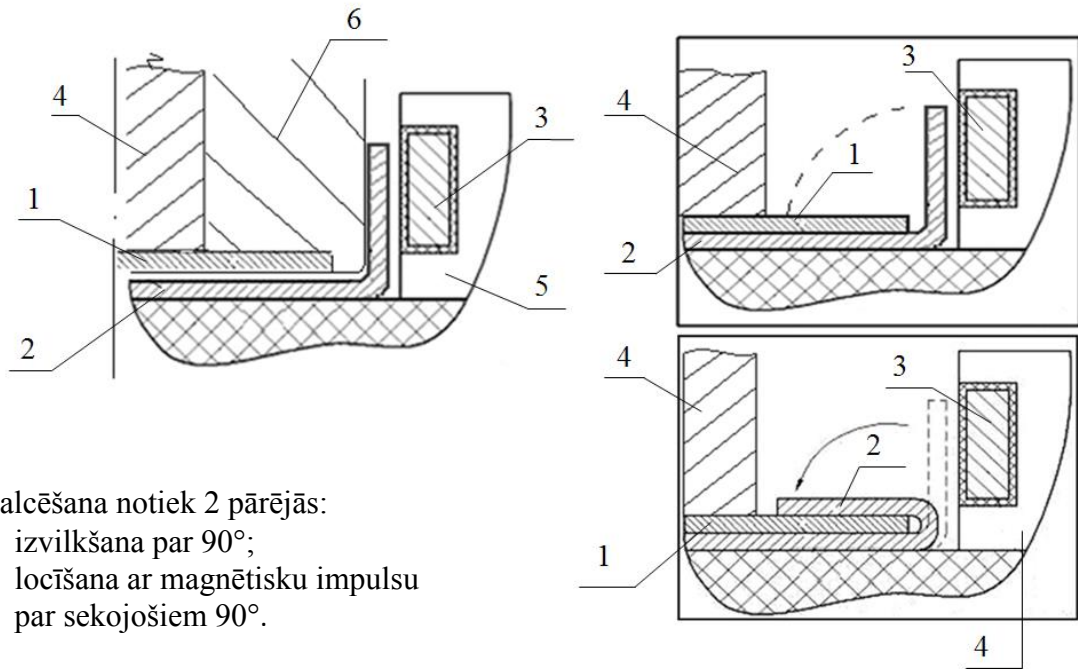
Liels esošo pētījumu apjoms, kas veltīts impulsu-magnētiskai apstrādei, dod iespēju bāzēties uz zinātniskajām iestrādēm ASV, Krievijā, Vācijā, Latvijā u.c., attīstot hibrīdas un kombinētas tehnoloģijas štancēšanā un pulveru presēšanā.

Literatūras apskata rezultātā atrastas nepilnības esošajos salikšanas procesos. Tie neapmierina autorūpniecības prasības. Šeit nepieciešama augsta detaļu virsmas kvalitāte, iespējas veikt liekšanu ar maziem liekuma rādiusiem, augsta griešanas instrumenta stabilitāte u.c. Lai šīs prasības realizētu ražošanā nepieciešams izstrādāt jaunu tehnoloģisko aprīkojumu vai pat jaunas tehnoloģiskās līnijas.

Otrajā nodaļā dotas kombinētas valcēšanas shēmas, kurās pielieto statisko un dinamisko noslodzi neapstādinot tehnoloģisko procesu.

Pirmajā shēmā sākuma pāreja ir ārējā paneļa izvilkšanas operācija.. Otrajā pārejā notiek malas izliekšana pa 135° ar tam sekojošu liekšanu līdz 180°, izmantojot magnetu impulsu iedarbību.

Šī shēma dod iespēju sasniegt ļoti kvalitatīvu detaļas liekuma rādiusu. Shēmas realizācijai paredzēts izmantot štanci ar tajā iebūvētu matricu ar induktoru.



Valcēšana notiek 2 pārejās:
 – izvilkšana par 90°;
 – locīšana ar magnētisku impulsu
 par sekojošiem 90°.

1.att. Kombinētās valcēšanas tehnoloģiskā shēma

1 – iekšējais panelis; 2 – ārējais panelis; 3 – induktors; 4 – piespiedējs; 5 – matrica;
 6 - puansons

Otrajā shēmā (kombinētā valcēšana) arī tiek izmantotas divas pārejas (1.att.). Pirmajā pārejā puansons 6 pēc sagataves izvilkšanas operācijas apstājas vai atgriežas izejas stāvoklī, bet abi paneļi ar piespiedēju 4 turpina kustību. Otrajā pārejā, kad detaļas izliktā mala sasniedz induktoru 3 ($\alpha=90^\circ$), notiek kondensatoru baterijas izlādēšanās. Izliktā mala pagriežas līdz 180°. Piedāvātā tehnoloģija atļauj secīgi savietot divus noslodzes veidus neapturot pašu valcēšanas procesu.

Par doto iekārtu saņemts Krievijas patents Nr.111468 no 20.12.2011 „Lokšņu materiālu savienošanas iekārta ar atloku”.

Trešajā nodaļā dots kombinētās valcēšanas matemātiskais modelis. Dinamiskā procesa modelēšanai izmantotas skaitliskās aprēķina metodes.

Modelējot kombinēto valcēšanu veikti sekojoši pieņēmumi:

1. Magnētiskā lauka spiediens, kas iedarbojas uz atloka malu ir neatkarīgs no malas kustības:

$$P(H) = \int_0^\infty \sigma B dz = \frac{\mu_o H_m^2}{2} e^{-2\sigma t} \sin^2 wt;$$

$$P(\varphi) = \frac{\mu_o H_m^2}{4} e^{-2\sigma\Delta} (1 - \cos 2\varphi),$$

kur Δ - magnētiskā lauka iekļuves dziļums materiālā.

2. Siltuma efekti, kas veidojas atloka dinamiskās deformēšanas procesā netiek ņemti vērā;
3. Spēka iedarbes process ar konstrukciju tiek skatīts kā divu ķermeņu elastīgs kontakts;
4. Impulsa magnētiskā lauka spiediena aprēķinos netiek ievēroti robežefekti.

Tad kombinētās valcēšanas datormodelēšanas metodika balstās uz vienādojumiem:

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_i} + p f_i = \rho \ddot{x}_i - \text{kustības vienādojums};$$

$$\dot{x}_i(X_0, 0) = V_i(X_0) - \text{sākuma noteikumi};$$

$$\sigma_{ij} n_{ij} = p_i(t) - \text{robežnoteikumi},$$

kur σ_{ij} - Košī spriegumu tenzors;

f_i - telpisko spēku blīvuma vektors;

ρ - materiāla tilpuma blīvums;

Pielietojot iespējamo pārvietojumu principu, kustības vienādojumu var uzrakstīt sekojoši:

$$\int_V (\rho \ddot{x}_i - \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} - \rho f_i) \delta x_i dV + \int_{\partial b_1} (\sigma_{ij} n_j - p_i) \delta x_i dS + \int_{\partial b_3} (\sigma_{ij}^+ - \sigma_{ij}^-) n_{ij} \delta x_i dS = 0,$$

kur δx_i - iespējamie pārvietojumi, atbilstoši robežnoteikumiem.

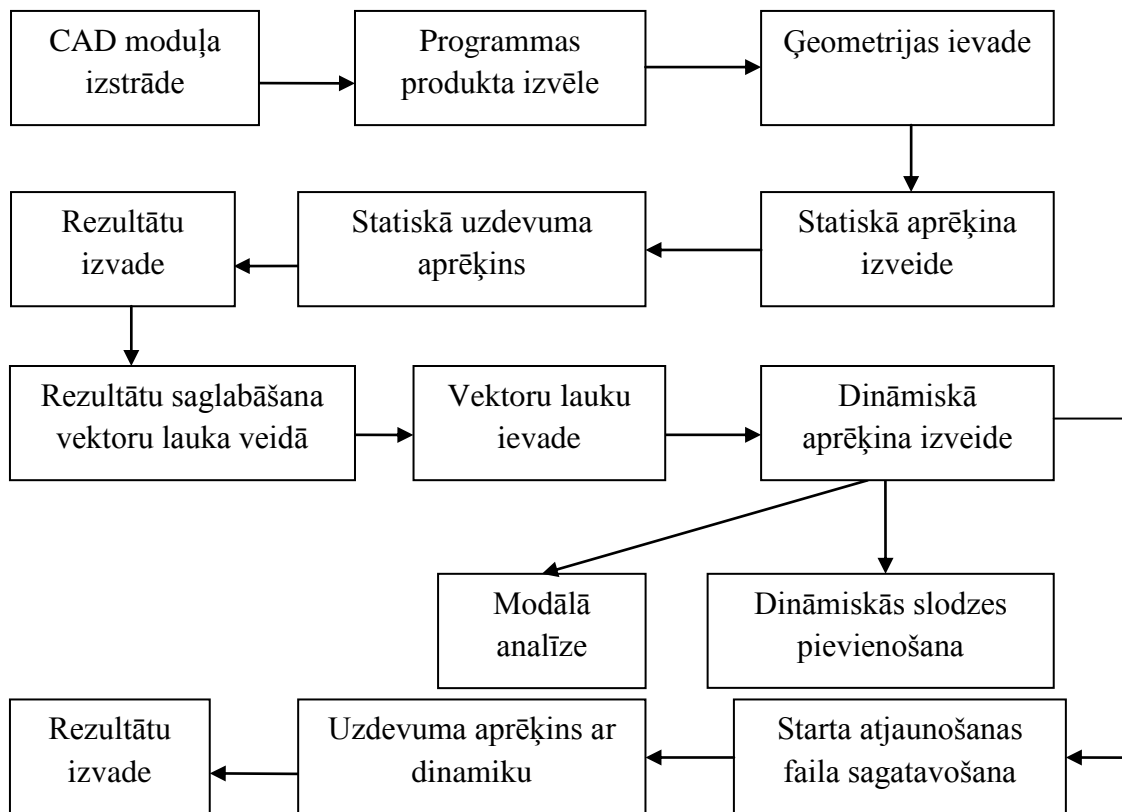
Iegūtais vienādojums formulē iespējamā darba lielumu. Tā rezultātā darba izmaiņa pie iespējamajiem pārvietojumiem var tikt pieņemta vienāda ar nulli:

$$\delta \pi = \int_V \rho \ddot{x}_i \delta x_i dV + \int_V \sigma_{ij} \frac{\partial \delta x_i}{\partial x_j} dV - \int_V \rho f_i \delta x_i dV - \int_{\partial b_1} p_i \delta x_i dS = 0$$

Sadalot izmaiņu apgabalu n elementos un veicot summēšanu pa šiem apgabaliem, izmantojot galīgo elementu metodi, iegūstam izteiksmi:

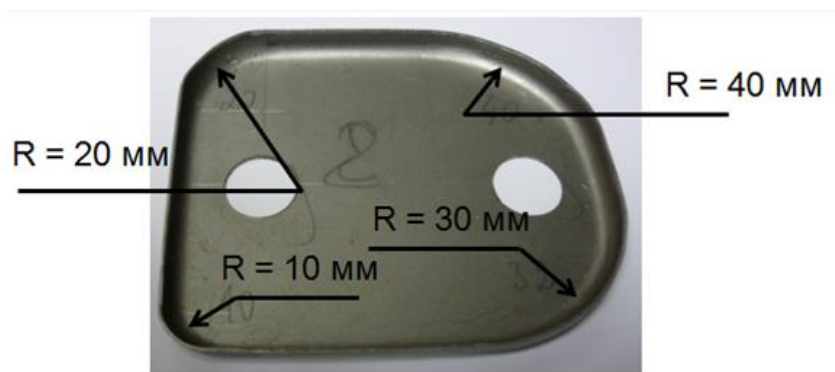
$$\delta_{ij} = \sum_{m=1}^n \delta \pi_m = 0$$

Līdz ar to spriegumu pieauguma vektorus var uzskatīt kā matemātisko modeli elastīgi-plastiskai deformācijai, kas atspoguļo procesa dinamiskās ietekmes specifiku. 2.att. attēlota statiski-dinamiskā aprēķina etapu shēma:



2.att. Kombinētā aprēķina etapu shēma

Lai modelētu kombinētās valcēšanas procesu tika izvēlēta detaļa, kas ir vienkārša, taču tās izgatavošana ietver reālus tehnoloģiskos procesus. Detaļa pēc formas tuva automašīnas degvielas bākas ieejas lūkai. Tajā iekšējā virsma savienojas ar ārējo, izmantojot valcēšanas operāciju. Pa detaļas perimetru veidoti noapaļojumi ar rādiusiem $R=10, 20, 30, 40$ mm (3.att.).

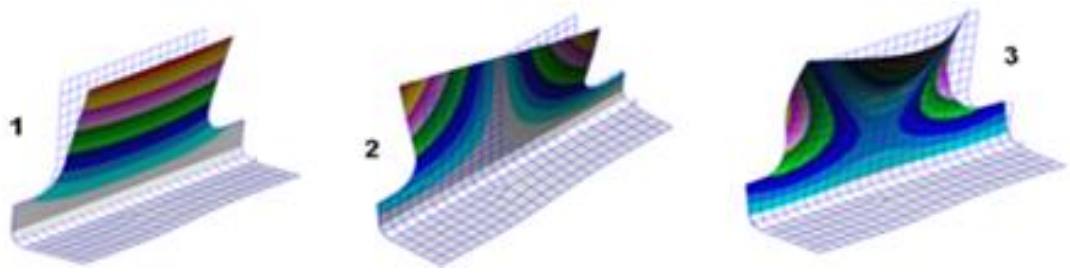


3.att. Sagataves modelis

Datormodelis aptuveni atbilst eksperimenta ierīcei. Aprēķinam izmantota datorprogramma MSC.NASTRAN/MSC.MARC.

Aprēķina modelī ir izmantota galīgo elementu metode, Maksvela vienādojums un robežnoteikumi.

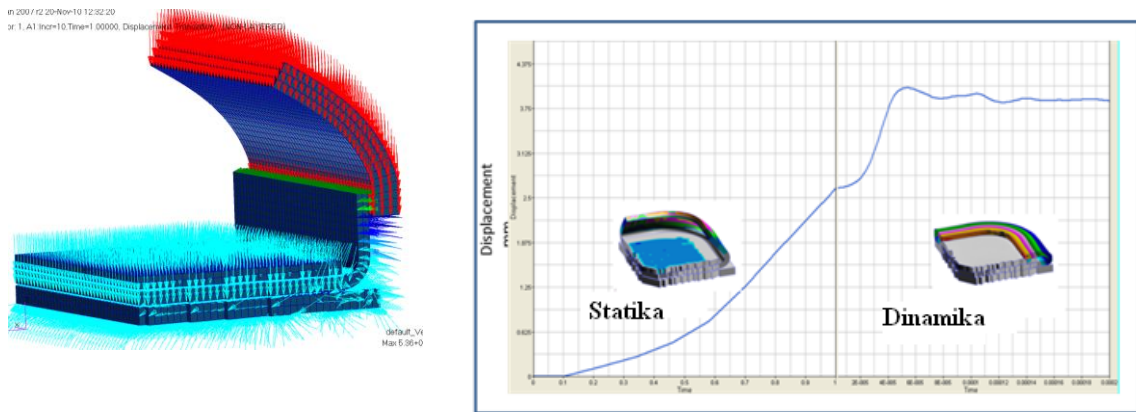
Modelēšanas procesā veikta modālā analīze. Daži tās piemēri doti 4.zīmējumā.



4.att. Modeļa analīze pirmajām trim pašfrekvencēm

Spēkiem, kas darbojas uz detaļas malām jābūt mazākiem par to kritiskām vērtībām, kas nosaka procesa stabilitāti.

Datormodelēšanas metodikā izmantota vektoru lauku ievadīšana, lai statisko rezultātu pārnestu uz dināmisko (5.att.).

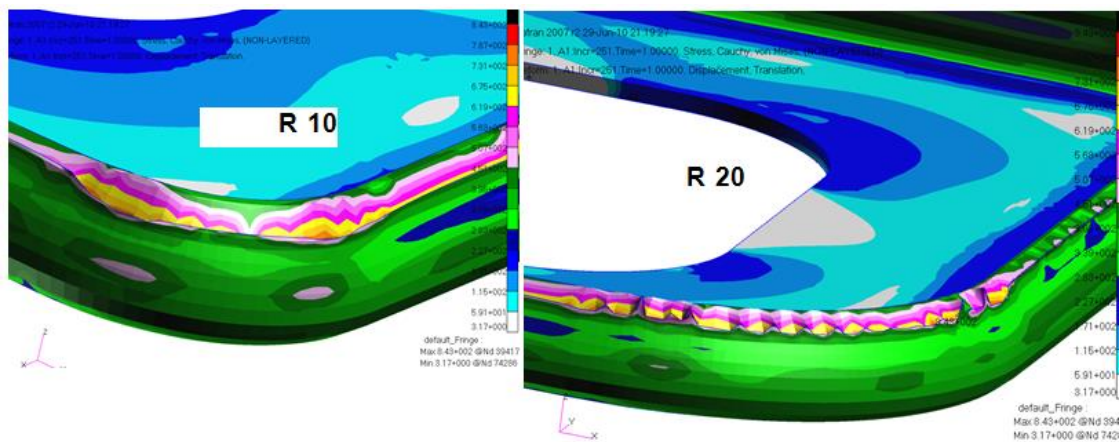


5.att. Statisko un dināmisko aprēķinu savietošana

Lai realizētu kombinēto aprēķina metodi, izstrādāta un ieviesta virtuālo pārbaužu metodika 34110.37.101.0004-2011.

Ceturtajā nodaļā doti kombinētā valcēšanas procesa datormodelēšanas rezultāti. Apskatīti 6 jautājumi:

1) *Detaļas malas materiāla spriegumstāvokļa izmaiņas.* Tās redzamas 6.att.

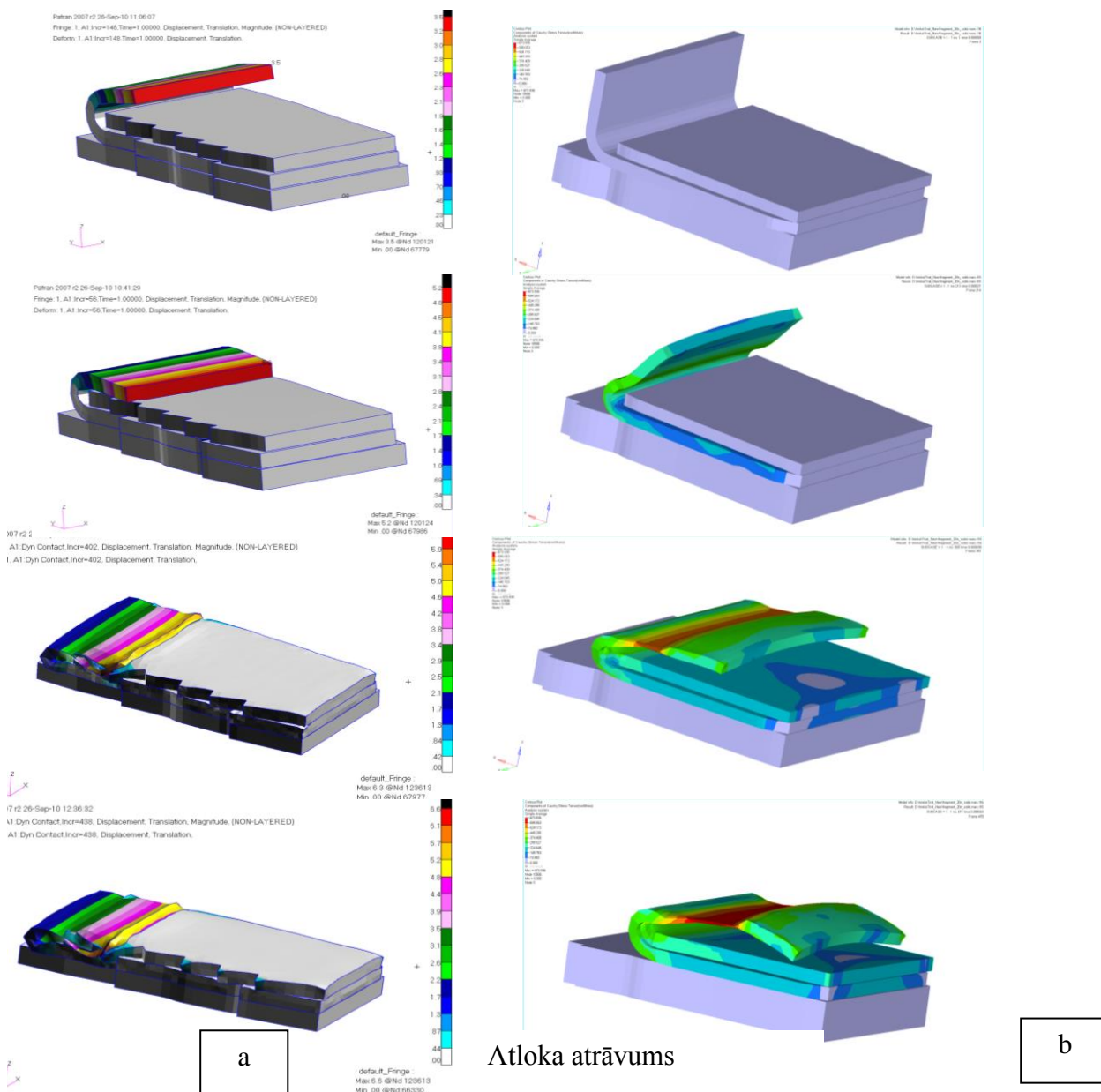


6.att. Modeļa analīzes rezultāti pirmajām trim pašfrekvencēm

Iegūtie rezultāti detaļas gala virsmas valcēšanā atļauj novērtēt sprieguma kritiskās vērtības dināmiskā režīmā, kas rada procesa nestabilitāti.

2) *Dinamiskās slodzes intensitātes ietekme uz detaļas malas deformācijas raksturu pie valcēšanas*

Sagataves materiāla deformācijas piemēri pēc dinamiskās slodzes impulsa pielikšanas doti 7.att.

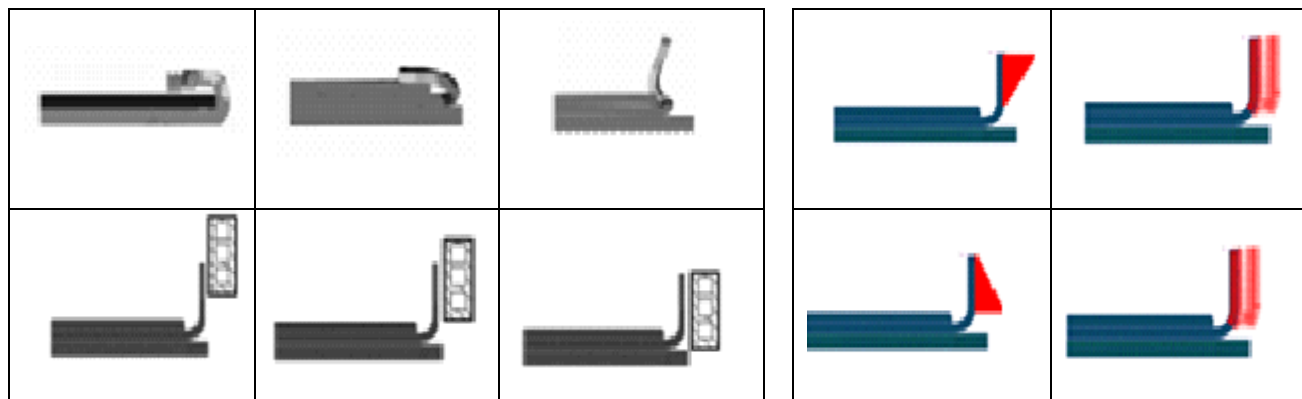


7.att. Kombinētās valcēšanas procesa kinemātika pie dažādiem spēka impulsa virzieniem
a – zem 45°, b – pie impulsa horizontālā stāvokļa

Pēc 7.att. skicēm var novērot deformāciju attīstību locīšanas procesā. Pie lielas enerģijas notiek detaļas materiāla tecēšana un citi bojājumi. Modelēšana atļāva atrast optimālu slodzes lielumu: 6 – 8 KJ.

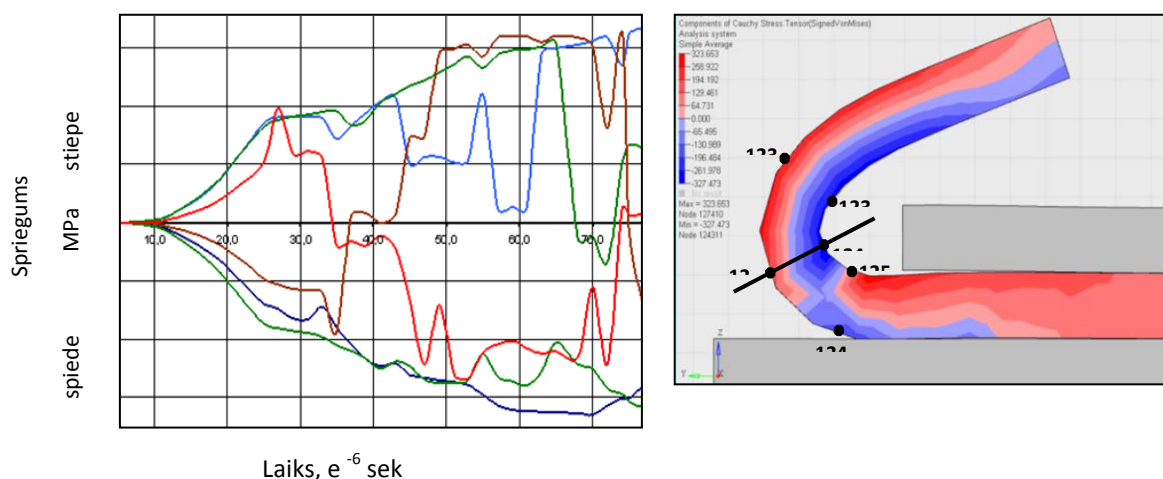
3) Spēka impulsa formas ietekme uz detaļas malas valcēšanu.

Magnētiskā induktora un valcējamās detaļas malas savstarpējais novietojums dod iespēju mainīt spēka impulsa formu. Datormodelēšana atļāva veidot detaļas malas kustības kinemātiku (skat. 8.att.).



8.att. Spēka impulsa formas un induktora novietojuma ietekme uz detaļas malas kinemātiku

Detaļas malas kustības raksturu nosaka sagataves materiāla spriegstāvoklis pie valcēšanas. Tas redzams 9.at. Deformācijas vietā, galvenokārt, darbojas stiepes spriegumi.



9.att. Deformācijas spriegumstāvokļi pēc valcēšanas

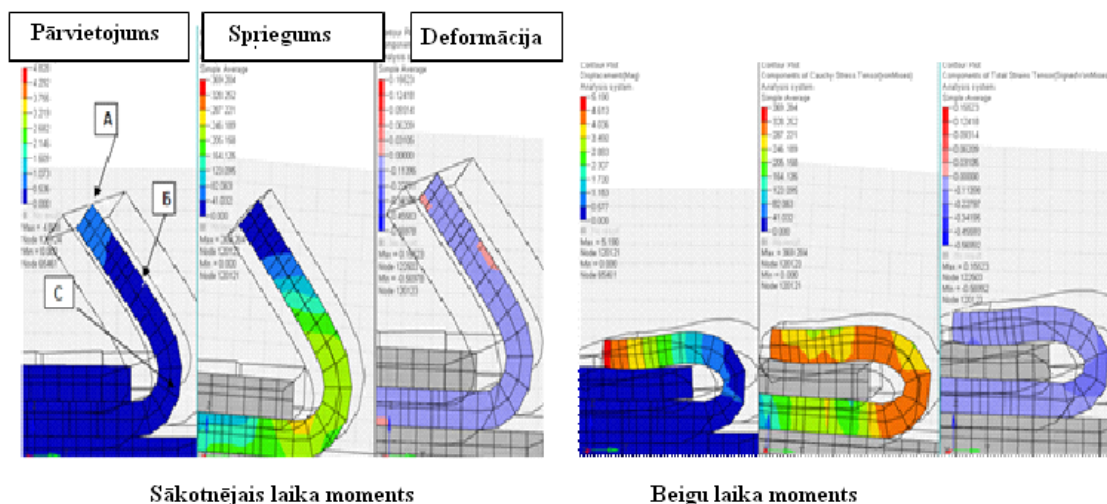
4) Sagataves ģeometrisko izmēru ietekme uz valcēšanas procesa robežparametriem, nodrošinot doto salikšanas kvalitāti.

Valcēšanas procesa modelēšana tika izpildīta pie detaļas malas augstuma $h=3; 5; 7$ mm un tās noapaļojuma rādiusa $R=10, 20, 30, 40$ mm. Tā palīdzēja noteikt minimālās šo parametru vērtības, kas nodrošina salikšanas procesa kvalitāti: $h_{\min}=5\text{mm}$, $R_{\min}=10\text{mm}$. Pie tam noteikta arī minimālā slodze 1,3 t (agrāko 1,5 t vietā).

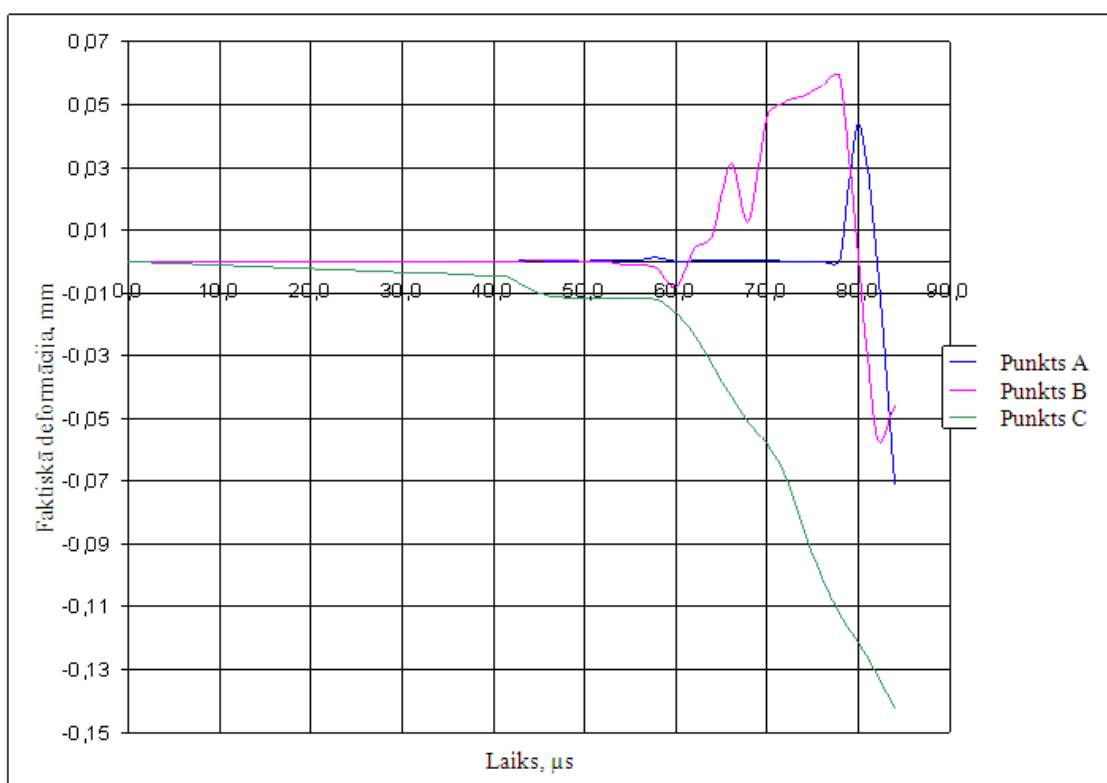
Papildus tika veikti detaļas virsmas raupjuma 3D mērījumi. Virsmas 3D raupjuma parametri $Sa=5,81\mu\text{m}$, $St=50,8\mu\text{m}$ atļauj nodrošināt salikšanas procesa kvalitāti.

5) Pārvietojuma, sprieguma un deformācijas savstarpējās ietekmes analīze pie dinamiskās valcēšanas.

Pielietotā datormodelēšana atļauj izpētīt pārvietojuma, sprieguma un deformācijas savstarpējo ietekmi (skat. 10. un 11.att.).



10.att. Valcēšanas procesa parametru ietekme 3 punktos: A, B, C



11.att. Faktiskās deformācijas izmaiņa

6) Valcēšanas rezultātā iegūto salāgojumu kvalitāte

Ražošanas salāgojuma stiprību pārbauda gatavam mezglam, pielietojot griezes kustību, locīšanu vai laušanu.

Datormodelēšana atļauj noteikt salikšanas kvalitāti pēc kontaktspriegumiem.

Tā, piemēram, pie valcējamās detaļas malu augstuma $H=5\text{mm}$, pieliktās enerģijas vērtībām $W=2; 6; 7; 12,3\text{ kJ}$ kontakta spriegumi sasniedz atbilstoši :50-70; 356-387; >600 MPa.

Aprēķina datu salīdzināšana ar ražošanas pārbaudēm, atļāva noteikt optimālo σ_{kont} vērtību, kas nodrošina prasīto salāgojumu kvalitāti.

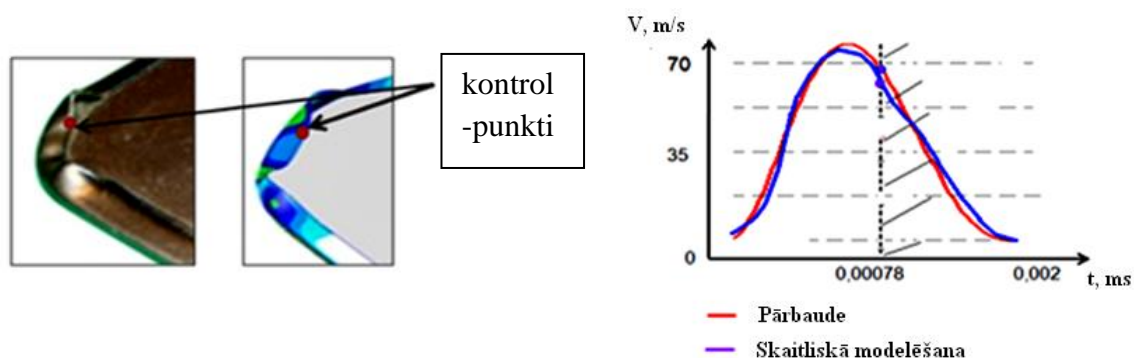
Ceturtajā nodaļā veiktā valcēšanas procesa analīze atļāva aprakstīt šī procesa specifiku.

- Konstatēta sarežģīta kinemātika valcējamās detaļas malai atkarībā no slodzes rakstura: malas novēlota deformācija, malas bojājums, plastiskā tecēšana u.c.
- Dinamiskās valcēšanas rezultātā rodas papildus stiepes spēki, kas maina spriegumstāvokli detaļai;
- Valcēšanas noslēdzošā posmā notiek detaļas malas sadursme ar otras detaļas iekšējo virsmu, kā rezultātā var rasties materiāla plastiskā tecēšana;
- Konstatēta iespēja radīt blīvu detaļu kontaktu, bez iekšējām „kabatām”. To veicina izvēlētais slodzes virziens.
- Noteiktas minimālās valcējamās detaļas malas augstums h_{\min} un minimālais liekuma rādiuss R_{\min} , kas nodrošina kvalitatīvu salikšanas procesu.
- Svarīga nozīme dinamiskajā valcēšanā ir metāla mehāniskām īpašībām. Paaugstinot metāla plastiskumu var samazināt slodzi līdz 1,3 t agrāko 1,5t vietā.

Piektā nodaļā aprakstīta metodika un doti eksperimentālu pētījumu rezultāti, salīdzinot tos ar datormodelēšanas datiem.

Tika pētīta detaļas malas kinemātika pie dinamiskās valcēšanas režīma apstākļiem. Procesu kinemātiskie parametri tika noteikti ar ātrgaitas kameru „Cordin-505”. Tika noteikti arī ātrgaitas parametri izlādes magnētiskajai ķēdei.

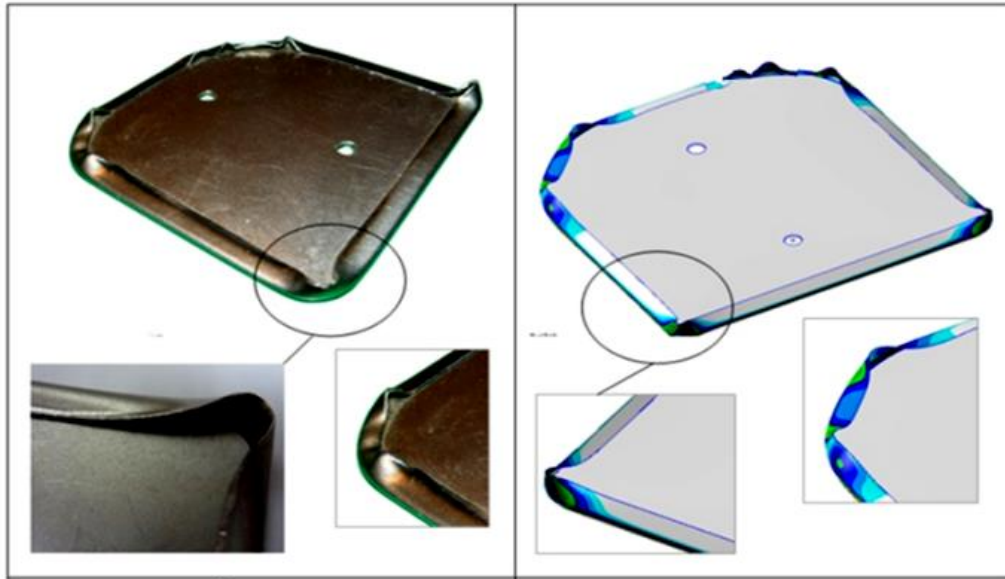
12.att. deta deformācijas ātruma izmaiņa laikā.



12.att. Eksperimentālo un skaitlisko rezultātu salīdzinājums

12.att. rezultātu analīze rāda, ka eksperimentālie un datormodelēšanas rezultāti atšķiras ne vairāk kā 5-8%.

Kvalitatīvi laba atbilstība eksperimentāliem un datormodelēšanas rezultātiem dota arī 13.att., kurā attēlota detaļas ārējā paneļa ģeometrija.

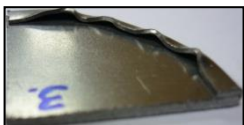
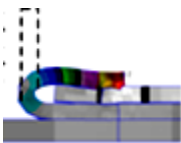

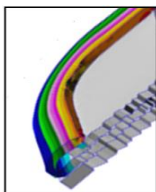



13.att. Valcēšanas rezultātā iegūto savienojumu skats no ārpuses (pa kreisi-eksperiments, pa labi - datormodelēšana)

Par eksperimenta un datormodelēšanas rezultātu saskaņu liecina arī dati, kas doti 1.tabulā.

1.Tabula

Eksperimentālo un datormodelēšanas datu salīdzinājums

Viļņu augstums, mm		Minimālais liekuma rādiuss, mm		Minimālais noapaļojuma rādiuss plaknē, mm	
<i>Aprēķins</i>	<i>Eksperiments</i>	<i>Aprēķins</i>	<i>Eksperiments</i>	<i>Aprēķins</i>	<i>Eksperiments</i>
0,15-0,30	0,20-0,40	1,20-1,35	1,20-1,30	10	10
					

Sestajā nodaļā dota izstrādātās valcēšanas tehnoloģijas praktiskā realizācija un rekomendācijas:

1. Piedāvāta kombinētās valcēšanas parametru aprēķina datorprogramma. Izstrādāta metodika, kas pielietota uzņēmumā „Автоваз” (Krievija): И.34/10/37101004-2011. Ieviešanas akts 34110-77/154. Metodika pielietota pie automašīnas „Kaļina” aizmugures durvju izgatavošanas.
2. Veikts magnētiskā induktora parametru aprēķins, kas pārbaudīts projektējot eksperimentālo iekārtu.
3. Balstoties uz datormodelēšanas un eksperimenta rezultātiem sagatavotas rekomendācijas valcēšanas procesam, kas nodrošina optimālo parametru R, r, h vērtības.

10. GALVENIE REZULTĀTI UN SLĒDZIENI

1. Izstrādāta automašīnu virsbūves salikšanas tehnoloģija, pielietojot plastisko deformāciju, savietojot statisko un dinamisko noslodzi, nepārtraucot deformācijas procesu. Iekārtai ir Krievijas patents Nr.111468.
2. Sagatavota kombinētās valcēšanas datormodelēšanas metodika, kas ļauj aprēķināt sarežģītas formas detaļu salikšanas parametrus.
3. Skaitlisko metožu pielietošana dotajā darbā atļāva izpētīt materiālu spriegumu-deformācijas stāvokli valcēšanas procesā kā arī noteikt spiediena izmaiņas laikā un telpā.
4. Izpētīts kombinētās valcēšanas procesa mehānisms, kas atļauj noteikt spēka un detaļas ģeometrisku parametru ietekmi uz salikšanas procesu.
5. Savietojot statisko un dinamisko slodzi valcēšanas procesā iegūts palielināts darba ražīgums, paaugstināta ražojuma kvalitāte un samazināta detaļu izgatavošanas pašizmaksa (vienkāršota aprīkojuma konstrukcija un samazināts štanču skaits).
6. Apkopojot skaitliskus modelēšanas un eksperimentālo pētījumu rezultātus izstrādāta kombinētās valcēšanas praktiskās realizācijas metodika. Konstruktoriem – optimālās detaļas parametru vērtības, tehnologiem – optimālās slodzes un štanču projektēšanas dati.

